PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA) CATEGORÍA II

INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTO BORDE SOBRE LA BIODIVERSIDAD

INFORME COMPARATIVO 2014-2022

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13216	N/A	BIODIVERSITY CONSULTANT GROUP	04 mayo de 2023

Preparado por:



BIODIVERSITY CONSULTANT GROUP

Abril 2023

INFORME DE MONITOREO DE EFECTO BORDE SOBRE LA BIODIVERSIDAD

COMPARACION DE RESULTADOS DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA **2014-2022**

Mina de Cobre Panamá

Biodiversity Consultant Group (BCG)
Hato Pintado, Calle Sauce, Casa L13
Teléfono: 203-6384

Equipo Administrativo:
Msc, MBA. Samuel Valdés **Director** -**Ictiología y entomología**
Msc. César Jaramillo -**Gerente**
Msc. Marelys Torres -**Gerente de Proyectos**
Lic. Juan Pablo Ríos -**Logística**
Téc. Juan Hernández -**Logística y Seguridad**

Equipo de Especialistas:
MSc. César Jaramillo -**Herpetología**
MSc. Marelys Torres -**Gestión Ambiental**
Téc. Laurencio Martínez -**Botánica**
Téc. Kathania Flores -**Botánica**
Téc. Benjamín Walker -**Vida Silvestre y Mastozoología**
Téc. Yaritza González -**Peces e Insectos Acuáticos**
Lic. Juan Pablo Ríos -**Ornitología**

Colaborador Externo:
MSc. Orlando O. Ortiz **-Botánico.**

Equipo Asesor de BCG:
Lic. Samuel Valdés **-Peces de agua dulce y Entomología**
Lic. Alvin Zapata **-Botánica**

2022 BCG Panamá

Contenido

Resumen Ejecutivo 5
Introducción 7
Área de Estudio y sitios de muestreo 8
Habilitación de los gradientes 9
Análisis de los datos 10
Resultados y Discusión 11
Gradiente T2 13
Estado del gradiente 13
Anfibios 14
Reptiles 15
Mamíferos terrestres 16
Murciélagos 17
Gradiente T3 18
Estado del gradiente 18
Anfibios 19
Reptiles 20
Mamíferos terrestres 21
Murciélagos 22
Gradiente T4 23
Estado del gradiente 23
Anfibios 24
Reptiles 25
Mamíferos terrestres 26
Murciélagos 27
Gradiente T6 28
Estado del gradiente 28
Gradiente T10 33
Conclusiones 38

Índice de tablas

Tabla 1.Nombre y coordenadas del punto de inicio de cada gradiente de muestreo de efecto 8
Tabla 2.Índices de Diversidad calculados e interpretación 10
Tabla 3.Comparación de los principales índices de diversidad alfa del gradiente T2 14
Tabla 4.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles del gradiente T2. 15
Tabla 5.Comparación de principales índices de diversidad alfa para mamiferos terrestres del gradiente T2. 16
Tabla 6.Comparación de principales índices de diversidad alfa para murciélagos del gradiente T2. 17
Tabla 7.Principales índices de diversidad alfa del gradiente T3 para el componente de anfibios 19
Tabla 8.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles del gradiente T3 20
Tabla 9.Principales índices de diversidad alfa para mamíferos de los transectos del gradiente T3. 21
Tabla 10.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murciélagos del gradiente T3 22
Tabla 11.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para anfibios del gradiente T4 24
Tabla 12.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles del gradiente T4 25
Tabla 13.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para mamíferos terrestres del gradiente T4 26
Tabla 14.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murciélagos del gradiente T4 27
Tabla 15.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para anfibios de del gradiente T6 29
Tabla 16.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles de del gradiente T6 30
Tabla 17.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para mamíferos terrestres del gradiente T6 31
Tabla 18.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murciélagos de del gradiente T6 32
Tabla 19.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para anfibios de del gradiente T10 34
Tabla 20.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles de del gradiente T10 35
Tabla 21.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para mamíferos terrestres del gradiente T10 36
Tabla 22.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murcielagos del gradiente T10 37

Índice de figuras

Figura 1.Ubicación de los sitios de muestreo 9
Figura 2.Comparación de imágenes satelitales en el sector del T2. 13
Figura 3.Mapa del gradiente T3 mostrando el cambio en la cobertura vegetal ocurrido entre 2006 y 2017. 18
Figura 4.Mapa del gradiente T4 mostrando el cambio en la cobertura vegetal ocurrido entre 2006 y 2017. 23
Figura 5.Mapa del gradiente T6 mostrando el cambio en el uso de suelo ocurrido entre 2006 y 2017. 28
Figura 6.Mapa del gradiente T10 mostrando el cambio en el uso de suelo ocurrido entre 2006 y 2017. 33

Resumen Ejecutivo

Este reporte compara los resultados de la diversidad alfa para los grupos taxonómicos de anfibios, reptiles, mamíferos terrestres y quirópteros para los transectos T2, T3, T4, T6 y T10, mismos que fueron muestreados durante los meses de abril a junio de 2014 y octubre a diciembre de 2022.

Los datos han sido actualizados en cuanto a la taxonomía y tabulados para su análisis con el software PAST, generando los índices de diversidad alfa para cada periodo de muestreo y comparados.

Se recomienda cautela al comparar los resultados de ambos muestreos debido a que variables ambientales abióticas y bióticas tienen influencia sobre la presencia y abundancia relativa de la fauna, en este sentido se hace difícil atribuir las diferencias a efectos antrópicos, con la notable excepción del gradiente T2, en el cual con certeza podemos asegurar que el impacto causado por la tala y apertura de bosque para el establecimiento de cultivos y ganadería ha afectado negativamente los principales índices de biodiversidad para todos los taxa de este gradiente.

En este sentido, los mamíferos han sido el grupo más afectado, y aunque la comunidad de anfibios aparenta un incremento de riqueza, esta se debe al reemplazo en la comunidad de especies comunes de áreas abiertas que han reemplazado a las especies de anfibios de bosque.

Los gradientes T3, T4 y T6 presentan variaciones que no pueden atribuirse a efectos de actividad humana, por el contrario, variables como la ocurrencia de lluvias durante el muestreo parecen ser la principal explicación a las diferencias, por ejemplo, durante el periodo 2022 fueron más abundantes los anfibios en todos los gradientes en tanto que la diversidad de murciélagos apenas varió o disminuyo, para ambos grupos está aceptado que la lluvia incrementa la actividad reproductiva de los anfibios y disminuye el forrajeo de murciélagos.

El gradiente T10 se constituye como un sitio de referencia, en el cual prácticamente no hubo diferencias entre los índices de diversidad, con comunidades de anfibios y reptiles prácticamente idénticas, pero cambios en el ensamblaje de mamíferos terrestres y murciélagos. Este gradiente es notable por la ausencia de afectaciones causadas por tala ilegal y avance de la frontera agrícola, y la presencia de varias especies endémicas o de rango de distribución restringida hacen que este lugar sea un área importante de conservación.

Introducción

Para el desarrollo del Proyecto Cobre de Minera Panamá S. A. (MPSA), se proyecta la intervención de aproximadamente 5,900 hectáreas de bosques en las tierras bajas de la vertiente Caribe, en el Distrito de Donoso, Provincia de Colón.

El impacto más obvio, producto de la construcción y operación de las instalaciones de la mina, es la pérdida de hábitat por la tala; sin embargo, otro impacto conocido como "efecto de borde" se genera al crear zonas de discontinuidad de la cobertura boscosa existente y es causado por el cambio en la iluminación, en las corrientes de aire, en la exposición a la lluvia y en la composición de las especies a lo largo del lindero del bosque intervenido (Lovejoy et al., 1986; Kapos et al., 1997); los efectos de borde pueden propagarse varios cientos de metros hacia el interior del bosque remanente (Laurance, 2000).

El Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) de Categoría III del Proyecto Cobre Panamá, elaborado por Golder Associates identifica el impacto de "efecto de borde", y lo describe como: "Impacto ecológico asociado a los bordes de las comunidades de plantas. Una franja exterior de una comunidad de plantas que normalmente tiene un ambiente distinto del interior de la comunidad de plantas". Este mismo estudio prevé que la cantidad total de borde resultante del desarrollo del proyecto aumentará ligeramente de aproximadamente 90 km lineales durante la construcción a aproximadamente 100 km lineales en las operaciones del Proyecto Cobre Panamá. Además, se estima que los impactos de borde ocurrirán dentro de los 500 m alrededor de la huella del proyecto, afectando aproximadamente 4,400 Ha, aunque prevé que el impacto más significativo ocurrirá dentro de los primeros 100 metros, afectando menos de 1,000 Ha.

El EsIA describe una serie de actividades para la mitigación de este impacto, entre las que se menciona la disminución del borde creado por el proyecto y monitorear la flora para determinar los efectos de borde, aire y agua, y si fuera necesario, tomar las acciones correctivas correspondientes (EsIA, Biodiversidad- Sección 9.1.16).

Producto de este compromiso y a fin de definir con mayor precisión la magnitud y alcance de los impactos previstos asociados al efecto de borde, se plantea la necesidad de implementar un programa de seguimiento a los indicadores ecológicos claves para las comunidades biológicas presentes en el área de proyecto y bajo la influencia del efecto de borde generado por él. Los resultados obtenidos servirán para la implementación de medidas de mitigación adecuadas y establecerán los controles que permitan al proyecto cumplir con sus políticas ambientales y compromisos existentes relacionados a la biodiversidad.

Área de Estudio y sitios de muestreo

El programa de Monitoreo de Efecto Borde fue diseñado para monitorear los efectos de la operación minera sobre la diversidad biológica de varios grupos taxonómicos. En principio se estableció que el límite cercano del gradiente debía estar ubicado a 50 metros del límite de la huella del proyecto, sin embargo, para la fecha del establecimiento de los gradientes la operación minera aún no había definido el contorno final del proyecto, de allí que los gradientes no se encuentren en el borde del proyecto, si no más alejado de la huella.

Para la definición de la ubicación de los gradientes, en el año 2013 se trazaron en un mapa, secciones de 1.2 km de longitud a lo largo del perímetro de la huella del proyecto, estimado entre 90 a 100 km lineales, lo que dio espacio para ubicar entre 75 a 83 posibles gradientes de impacto, de 1.5 km de longitud por 1.2 km de ancho. Luego se descartaron aquellos que estaban anexos a zonas que en ese momento están perturbadas y entre los restantes se seleccionaron 15 gradientes de manera aleatoria, y de ellos solo 10 fueron posible implementar ya que al ir a campo más sitios intervenidos fueron localizados. Estos 10 transectos fueron los que constituyeron la línea base.

De estos 10, se seleccionaron cinco (ver Tabla N°1), también de manera aleatoria, para iniciar en el 2014 el estudio base de este proyecto a largo plazo, y cinco para el 2015. Este reporte da cuenta de la comparación de los 5 primeros gradientes establecidos en 2014, denominados T2, T3, T4, T6 y T10

Tabla 1.Nombre y coordenadas del punto de inicio de cada gradiente de muestreo de efecto

Gradiente	Long. Inicio	Lat. Inicio
T2	540582	981240
T3	538108	986316
T4	537102	987231
T6	530724	985568
T10	529282	977590

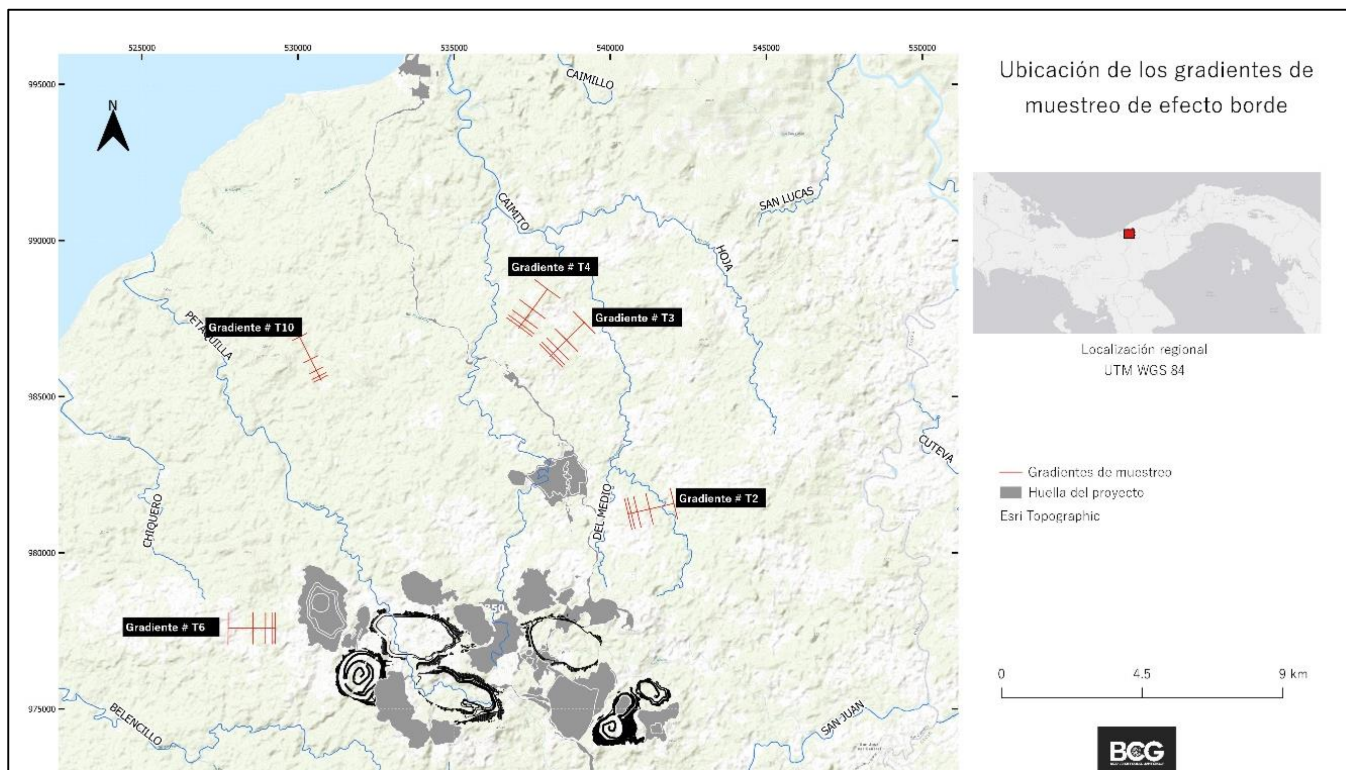


Figura 1.Ubicación de los sitios de muestreo

Habilitación de los gradientes

Entre el 21 de octubre y al 4 de noviembre 2022, un equipo de nueve personas de BCG ubicaron en campo los cinco gradientes de efecto borde que fueron establecidos en 2014, haciendo uso de GPS y de las etiquetas metálicas asignadas a las parcelas de monitoreo de flora.

Identificado cada gradiente se delimitaron y marcaron las cinco parcelas para plantas y cinco transectos para vertebrados (a los 50m, 150m, 350m, 750m y 1,500m del borde). Se trazaron además las secciones o transectos perpendiculares al eje del gradiente.

Análisis de los datos

Los datos de diversidad y abundancia por sitio fueron procesados con el software PAST versión 3.26 para la estimación de los índices de diversidad alfa y beta. Mediante análisis multivariado de agrupación se elaboró un árbol de agrupamiento por similitud para las comunidades de peces y macroinvertebrados con el índice Bray Curtis aplicando el método de agrupación jerárquica UPGMA.

Tabla 2.Índices de Diversidad calculados e interpretación

Categoría	Nombre del Indicador	Descripción
Riqueza Específica	Taxa_S	Cantidad de especies distintas por grupo taxonómico.
Abundancia	Individuals	Cantidad de individuos registrados para cada grupo taxonómico.
Dominancia	Dominance_D	Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad.
Índice de Dominancia	Simpson_1-D	Usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa.
Índice de Equidad	Shannon (H´´)	Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a cuál especie pertenecerá un individuo escogido al azar.
Índice de Diversidad	Evenness	(E)expresa equitatividad en el reparto de los recursos, es decir la uniformidad en la importancia relativa de las distintas especies que habitan un sitio.
Índice de Equidad	Brillouin	Índice utilizado cuando la aleatoriedad de la muestra no puede garantizarse.
Riqueza Específica	Margalef	Transforma el número de especie por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.
Riqueza Específica	Menhinick	Relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra.
Índice de Equitabilidad	Equitability_J	El índice J de equitabilidad comprar el índice de Shannon H contra la distribución de individuos entre de las especies observadas.
Índice de Diversidad	Fisher_alpha	Este índice valúa eficazmente la diversidad en función del número de individuos y del número de especies.
Índice de Dominancia	Berger-Parker	Este índice intrínseco simple expresa la importancia proporcional de la mayoría de las especies abundantes
Estimador de Diversidad	Chao-1	Es un estimador no paramétrico del número de especies en una comunidad basado en el el número de especies raras en la muestra

Resultados y Discusión

Durante el muestreo de efecto borde en los transectos T2, T3 y T4 se registró un total de 610 anfibios, correspondientes a 39 especies. La mayor diversidad de anfibios se registró en el transecto ubicado a 750 metros del T3, en donde se documentó la presencia de 21 especies en 43 individuos. El transecto con menor riqueza de anfibios fue ubicado a los 1500 metros en el T4 con solo nueves especies distribuidas en 58 individuos. Las especies más abundantes fueron *Diasporus* cf.*vocator* (n=82) y *Diasporus quidditus* (n=67) juntas representan el 24.4% de los registros de anfibios.

Algunos sitios presentan baja riqueza y abundancia de anfibios debido a que las fechas de muestreo coincidieron con episodios de lluvia intensa, condición que dificulta la ejecución del muestro e inhibe la actividad de alimentación, desplazamiento y búsqueda de pareja de varios grupos taxonómicos, incluidos los anfibios.

Los reptiles estuvieron representados por 30 especies distribuidas en 102 individuos, siendo la especie más abundante *Anolis humilis* (n= 29) de la familia Dactyloidae que además fue la familia mejor representada con 9 especies y 56 individuos representando el 55% de las observaciones de reptiles. El transecto con mayor diversidad biológica de reptiles fue el ubicado a los 350 metros en el T2, con 11 especies en 12 individuos para un índice de Shannon H'= 2.39 bits; el de menor diversidad fue el ubicado a los 1500 metros del T2 con solo dos registros de especies distintas (H'= 0.69 bits).

El grupo aves fue el taxa más diverso con 2,207 individuos distribuidos entre 172 especies, de las cuales las más abundantes fueron la tangara crestidorada (*Tachyphonus delatrii)* con 183 observaciones, seguida del loro verde *(Amazona farinosa*) con 119 registros, la tercera especie más abundante, con 111 individuos registrados fue el lorito emcapuchado (*Pyrila haematotis*), las observaciones de estas tres especies corresponden al 19% de los registros de aves en los tres gradientes.

Los transectos con mayor abundancia de aves fueron los ubicados a los 50 metros en los gradientes T2 y T4 con 63 y 62 especies, respectivamente, seguidos de los transectos ubicados a 750 metros en el gradiente T4 y el de 150 metros del T3 con 61 especies cada uno.

El grupo de mamíferos voladores del orden Chiroptera estuvo representado por 13 especies de murciélagos en 110 individuos colectados con redes de niebla, todos de la famila Phyllostomidae. La especie más común fue *Artibeus watsoni* (n=28), seguida de *Carollia castanea* (n=23), ambas representan el 46% de todas las

capturas. Según la literatura, para el distrito de Donoso se han reportado 29 especies de murciélagos pertenecientes a cuatro familias[1].

Varios factores influyen en la actividad nocturna de los murciélagos, que impactan sobre los muestreos de este grupo taxonómico, entre ellos están las lluvias, temperatura y el ciclo lunar, que determina en muchos animales nocturnos los ciclos reproductivos entre otras actividades como el forrajeo y reproducción [2]. Es probable que las fuertes lluvias registradas durante el periodo de muestreo hayan incidido en las bajas capturas de murciélagos.

Finalmente, el grupo de mamíferos terrestres estuvo representado por 18 especies en 68 observaciones, capturas o rastros que indicaron su presencia. Entre estas 18 especies se contabiliza el registro de huellas de un felino grande no identificado, posiblemente *Puma concolor* o *Panthera onca*. La especie con mayor número de observaciones fue el mono cariblanco (*Cebus capuchinus)* con 11 registros, seguido de 8 capturas de la rata acorazada (*Hoplomys gymnurus*).

Datos previos levantados por BCG para Minera Panamá, en el marco de proyectos de monitoreo de diversidad biológica de mamíferos, indica que la riqueza de mamíferos terrestres presentes en la zona es de aproximadamente 30 especies, los datos de esta estimación provienen de nuestros de mamíferos con cámaras trampa, metodología que permite un muestreo extendido y representativo de la comunidad de animales terrestres presentes en el lugar. Es probable que el corto tiempo de muestreo y las técnicas aplicadas para el registro de mamíferos del proyecto de monitoreo de efecto borde generen un sesgo de las observaciones.

A la fecha de elaboración de este informe se cuenta con información completa de aves, anfibios, reptiles y mamíferos registrados en los gradientes T2, T3 y T4.

---

[1] Araúz G., J. (2017). Riqueza y abundancia de las especies de murciélagos de Donoso, provincia de Colón, panamá. Tecnociencia, 19(2), 47-65. Recuperado a partir de https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/120

[2] Giulliana Appel, Adrià López-Baucells, William Ernest Magnusson, Paulo Estefano D Bobrowiec, Temperature, rainfall, and moonlight intensity effects on activity of tropical insectivorous bats, Journal of Mammalogy, Volume 100, Issue 6, 19 December 2019, Pages 1889–1900, https://doi.org/10.1093/jmammal/gyz140

Gradiente T2

Estado del gradiente

Respecto al estado de la cobertura vegetal y evidencia de intervención humana, el gradiente T2 se encuentra fuertemente impactado (Figura. 1). La presión del avance de la frontera agrícola y ganadera de las comunidades adyacentes al proyecto ha llegado hasta el gradiente, eliminando la cobertura vegetal correspondiente a los transectos ubicados a los 750 y 1500 metros, con evidencia de impactos en los transectos 50, 150 y 350 metros.

A pesar de la degradación del estado de conservación del gradiente, fue posible ejecutar el muestreo en los gradientes ubicados a los 50, 150 y 350 metros. No obstante, es posible que los resultados de diversidad biológica de algunos grupos se hayan visto afectados por la fragmentación del bosque y creación de zonas de borde. Precisamente el efecto de borde, pero con respecto a la mina, es lo que se pretende medir con este monitoreo, sin embargo, los transectos presentan bordes irregulares generados por otras actividades, lo que sin duda tiene incidencia en el ensamble de comunidades de organismos sensibles a alteración de la cobertura boscosa.

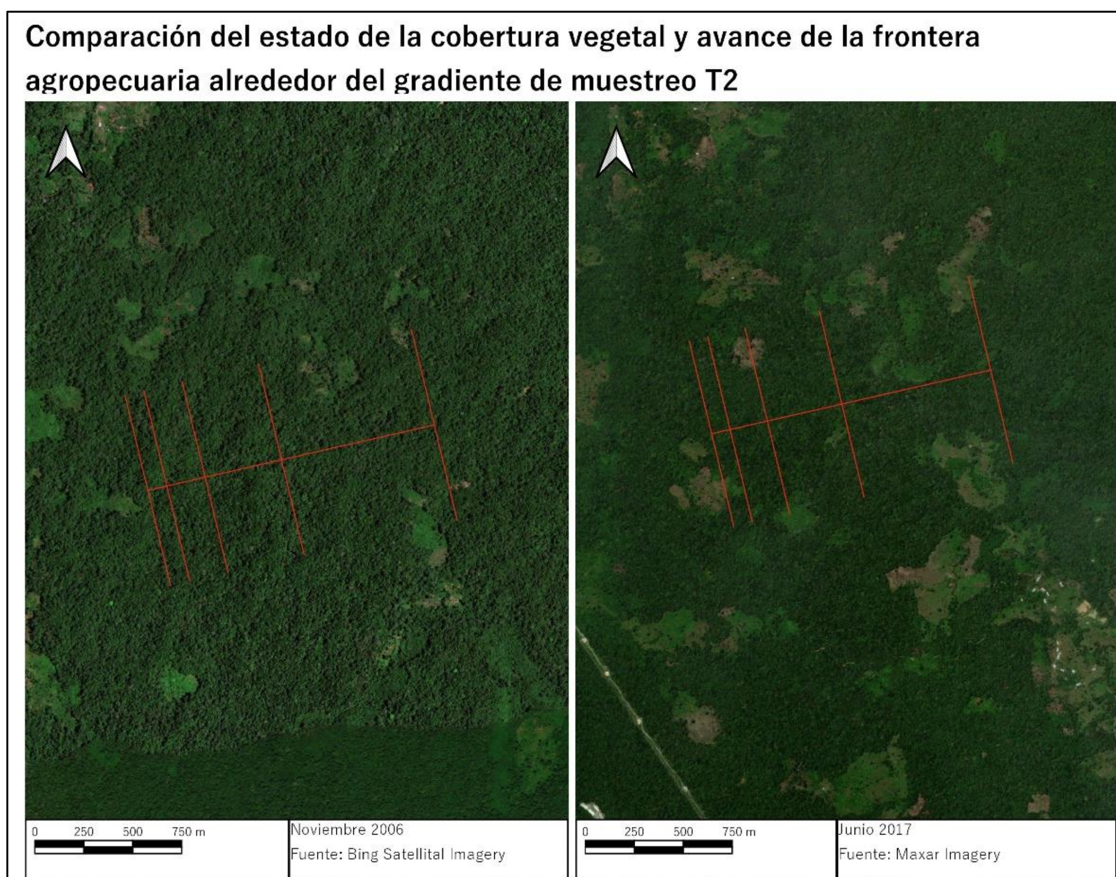


Figura 2.Comparación de imágenes satelitales en el sector del T2.

Anfibios

La mayor abundancia y diversidad de anfibios dentro del gradiente T2 se registró en el año 2022 con 145 individuos pertenecientes a 25 especies, en correspondiencia con esta diferencia se observa un índice de Shannon ligeramente superior para este año. Estos resultados parecen contrastar con el hecho que el gradiente T2 ha sido fuertemente impactado por el avance de la frontera agrícola desde las comunidades vecinas. Sin embargo, el incremento en la diversidad de anfibios responde a una mayor frecuencia y presencia de especies comunes en áreas intervenidas durante el muestreo de 2022 en comparación con los resultados de 2014.

Especies de áreas abiertas y alteradas como *Engystomops pustulosus, Smilisca phaeota y Boana rufitela* frecuentes durante el año 2022 no fueron registradas durante el 2014, en tanto que especies de bosque como *Allobates talamancae,* presentes en el 2014 no fueron documentadas en este muestreo.

No obstante, estas diferencias en estructura de la comunidad de anfibios, los indicadores de dominancia (Simpson 1-D) y homogeneidad (Evenness) no presentaron diferencias importantes entre ambos periodos.

Tabla 3.Comparación de los principales índices de diversidad alfa del gradiente T2

Indices	*2014*	*2022*
Taxa_S	17	25
Individuals	91	145
Dominance_D	0.08779	0.06388
Simpson_1-D	0.9122	0.9361
Shannon_H	2.612	2.929
Evenness_e^H/S	0.8017	0.7486
Brillouin	2.336	2.668
Menhinick	1.782	2.076
Margalef	3.547	4.822
Equitability_J	0.922	0.91
Fisher_alpha	6.165	8.708
Berger-Parker	0.1538	0.1034
Chao-1	17	28.33

Reptiles

La baja detectabilidad de reptiles debido a la dificultad intrínseca del grupo para ser detectado, sumado a las condiciones ambientales de lluvias dio como resultado pocos registros de reptiles durante los muestreos.

Aun así, los resultados de diversidad y abundancia de reptiles indican que durante el año 2014 hubo una mayor abundancia (n=32) y riqueza (S=19) de reptiles en el gradiente T2. Las estimaciones de diversidad real generadas por el estimador Chao-1, sugieren que la riqueza de especies debe situarse entre 22 y 32 especies.

La comparación de los índices de diversidad alfa indican que la comunidad del 2014 fue ligeramente más homogénea, con menos dominancia y más diversa que la encontrada en 2022 y al igual que con los anfibios, durante el 2022 fueron más abundantes las especies de reptiles de hábitats intervenidos como *Anolis humilis* y *Anolis limifrons*, ambas son pequeñas lagartijas que frecuentan herbazales y márgenes del bosque respectivamente, estas especies estuvieron ausentes en el muestreo del 2014 y en el caso particular de *Anolis humilis*, fue la especie dominante de reptil en el muestreo del año 2022.

Tabla 4.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles del gradiente T2.

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	19	13
Individuals	32	23
Dominance_D	0.08008	0.1607
Simpson_1-D	0.9199	0.8393
Shannon_H	2.751	2.231
Evenness_e^H/S	0.8237	0.7164
Brillouin	2.144	1.692
Menhinick	3.359	2.711
Margalef	5.194	3.827
Equitability_J	0.9341	0.87
Fisher_alpha	19.68	12.38
Berger-Parker	0.1875	0.3478
Chao-1	32.2	22

Mamíferos terrestres

Durante el muestreo del año 2022 los mamíferos terrestres y arborícolas estuvieron representados en el gradiente T2 por 26 registros individuales correspondientes a nueve especies, en tanto que durante el evento de muestreo del año 2014 la riqueza fue de 14 especies. Estos resultados reflejan en parte, el cambio de uso de suelo del polígono donde se ubica el gradiente T2 y los índices de diversidad biológica sustentan la afirmación que la intervención del área ha ocasionado la disminución de la diversidad, por ejemplo, el índice de entropía de Shannon pasó de 2.61 en 2014 a 1.95 en 2022, una disminución semejante ha sido registrada para la homogeneidad, por otra parte, la dominancia incrementó pasando del 0.07 en 2014 a 0.18 en 2022.

Aunque la diversidad biológica es fluctuante debido a múltiples factores, en el transecto T2 podría asegurarse que la razón más probable del cambio de indicadores de diversidad biológica de mamíferos terrestres ha sido el cambio de uso de suelo.

Tabla 5.Comparación de principales índices de diversidad alfa para mamiferos terrestres del gradiente T2.

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	14	9
Individuals	15	26
Dominance_D	0.07556	0.1805
Simpson_1-D	0.9244	0.8195
Shannon_H	2.616	1.915
Evenness_e^H/S	0.9768	0.7544
Brillouin	1.814	1.546
Menhinick	3.615	1.765
Margalef	4.801	2.455
Equitability_J	0.9911	0.8717
Fisher_alpha	102.6	4.877
Berger-Parker	0.1333	0.3077
Chao-1	53	12

Murciélagos

Continuando con el patrón observado en otros componentes taxonómicos de la diversidad biológica del gradiente T2, la diversidad de quirópteros también disminuyó, la riqueza pasó de 13 a 7 especies del 2014 al 2022, disminuyendo también los valores de índice de diversidad de Shannon, no obstante, la dominancia resultó marginalmente inferior pasando de 0.79 a 0.72 debido a el menor número de capturas de la especie *Artibeus watsoni*, que fue la especie con mayor frecuencia de capturas durante el 2014 en este gradiente.

La especie *Carollia perspicillata* mantuvo igual cantidad de registros en ambos muestreos, este es un murciélago común que se alimenta de una amplia variedad de frutos; con preferencia a frutos del género *Piper* (frutos en forma de espigas); también consume frutos de la familia Solanaceae, y especies de Cecropia [3] .

Tabla 6.Comparación de principales índices de diversidad alfa para murciélagos del gradiente T2.

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	13	7
Individuals	67	24
Dominance_D	0.2003	0.2743
Simpson_1-D	0.7997	0.7257
Shannon_H	2.014	1.524
Evenness_e^H/S	0.5763	0.6555
Brillouin	1.767	1.233
Menhinick	1.588	1.429
Margalef	2.854	1.888
Equitability_J	0.7851	0.783
Fisher_alpha	4.808	3.322
Berger-Parker	0.3881	0.375
Chao-1	23	13

[3] Fatima, V., Oria, M., Machado, M. C. 2007. Determinación de la dieta de algunas especies de murciélagos (Mammalia: Chiroptera) de la cordillera central de Venezuela. FARAUTE 2(2): 5-15.

Gradiente T3

Estado del gradiente

El gradiente T3 presenta pocas alteraciones respecto al estado inicial de la cobertura boscosa existente durante el establecimiento de los primeros transectos en el año 2014. Los cambios más notables han sido la recuperación natural en un área de aproximadamente 0.70 hectáreas ubicado en el extremo norte del transecto T3_ 750 la aparición de un área de "trabajadero" de 1.8 hectáreas que interfiere con la sección norte del transecto T3_1500.

Salvo el parche de bosque alterado cerca del T3_1500 el resto de los transectos se mantiene intacto, aun así, es posible que los resultados del muestreo presenten sesgos causados por esta intervención, entendiendo que las zonas de trabajadero también son utilizadas para la cacería y extracción de otros recursos como madera y fibras vegetales por parte de las comunidades que habitan la zona.

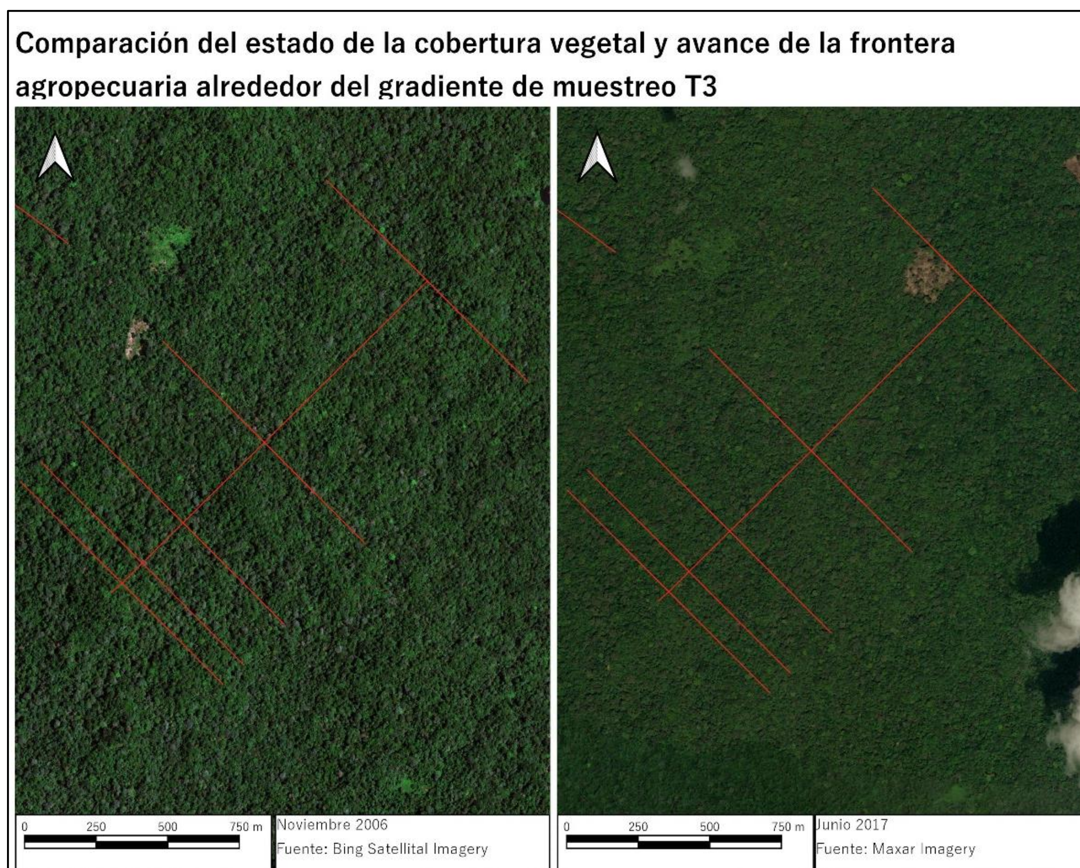


Figura 3.Mapa del gradiente T3 mostrando el cambio en la cobertura vegetal ocurrido entre 2006 y 2017.

Anfibios

La diversidad de anfibios en el gradiente T3 fue mayor en 2022 que en 2014, pasando de 19 a 29 especies, esto, acompañado de una mayor abundancia absoluta, en consecuencia todos los índices de diversidad biológica para este grupo han resultado superiores para el muestreo más reciente, se reporta menor dominancia y mayor índice de diversidad de Shannon, no obstante la riqueza esperada de anfibios para el área se mantiene en el rango de las 30 especies, de forma que la riqueza observada de 29 especies es prácticamente igual que la riqueza esperada según el estimador Chao-1.

Tabla 7.Principales índices de diversidad alfa del gradiente T3 para el componente de anfibios

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	19	29
Individuals	116	184
Dominance_D	0.1176	0.06026
Simpson_1-D	0.8824	0.9397
Shannon_H	2.447	3.024
Evenness_e^H/S	0.6082	0.7092
Brillouin	2.217	2.78
Menhinick	1.764	2.138
Margalef	3.787	5.369
Equitability_J	0.8311	0.898
Fisher_alpha	6.457	9.679
Berger-Parker	0.2414	0.125
Chao-1	29.5	31

La especie más frecuente en los transectos fue *Teratohyla spinosa* (Centronelidae), especie asociada al microhábitat ripario de cursos de agua lenta [4]. Otras especies frecuentes fueron del género *Diasporus*, entre ellas *Diasporus citrobaephus*, *Diasporus* cf. *vocator*, *Diasporus quidditus* y una especie no identificada del mismo género que suman en conjunto el 40% de los registros de anfibios. Estas especies presentan un índice de vulnerabilidad ambiental (EVS) de rango medio con valores entre 8 y 10 de EVS.

---

[4] Xochitl Ortiz-Ross, Michelle E. Thompson, Enrique Salicetti-Nelson, Orlando Vargas-Ramírez, Maureen A. Donnelly; Oviposition Site Selection in Three Glass Frog Species. Copeia 1 July 2020; 108 (2): 333–340. doi: https://doi.org/10.1643/CE-19-243

Reptiles

Para el muestreo del año 2022 se reportan 45 individuos pertenecientes a 20 especies de reptiles en el gradiente T3, en contraste, la riqueza observada en 2014 fue inferior, con 14 especies y 29 individuos. La familia más frecuente en ambos muestreos fue Dactyloidae representada por las lagartijas del género *Anolis*. Además en ambos muestreos se registró la ocurrencia de la especie *Diploglossus monotropis*, especie declarada como amenazada por el Ministerio de Ambiente[5] .

Por otra parte, en 2022 se registra para este sitio la presencia de la tortuga *Rhinoclemys annulata,* especie asociada a los bosques[6] maduros y catalogada como Casi Amenazada (NT) según la lista roja de UICN[7].

En conclusión, este gradiente presenta condiciones similares o de mayor diversidad que la observada durante el levantamiento de la línea base, sugiriendo que la intervención de 1.8 Ha cercana al transecto T3_1500 no ha supuesto una afectación a la diversidad de reptiles presentes en el área.

Tabla 8.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles del gradiente T3

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	14	20
Individuals	29	45
Dominance_D	0.1201	0.1141
Simpson_1-D	0.8799	0.8859
Shannon_H	2.372	2.59
Evenness_e^H/S	0.7654	0.6664
Brillouin	1.872	2.111
Menhinick	2.6	2.981
Margalef	3.861	4.991
Equitability_J	0.8987	0.8645
Fisher_alpha	10.65	13.8
Berger-Parker	0.2414	0.2667
Chao-1	21	33.2

[5] Resolución DM-0657 de 16 de diciembre de 2016. Por la cual se establece el proceso para la elaboración y revisión periódica del listado de especies de fauna y flora de Panama, y se dictan otras disposiciones. Gaceta Oficial N° 28187a

6 Moll, D., & Jansen, K. P. (1995). Evidence for a Role in Seed Dispersal by Two Tropical Herbivorous Turtles. Biotropica, 27(1), 121–127. https://doi.org/10.2307/2388909

[7] Tortoise & Freshwater Turtle Specialist Group. 1996. Rhinoclemmys annulata (errata version published in 2016). The IUCN Red List of Threatened Species 1996: e.T19501A97375435. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T19501A8941417.en. Accessed on 05 February 2022.

Mamíferos terrestres

La diversidad de mamíferos terrestres en el gradiente T3 estuvo representada por diez especies distribuidas en 20 individuos, en tanto que para el año 2014 se registraron 25 individuos pertenecientes a 17 especies, lo que en principio supone menor diversidad de mamíferos terrestres, sin embargo, para el muestreo del 2022 no se alcanzó la asíntota y el índice de cobertura de la muestra fue bajo, por lo que se presume un submuestreo ocasionado por la constante lluvia.

Tabla 9.Principales índices de diversidad alfa para mamíferos de los transectos del gradiente T3.

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	17	10
Individuals	25	20
Dominance_D	0.1072	0.12
Simpson_1-D	0.8928	0.88
Shannon_H	2.567	2.207
Evenness_e^H/S	0.7663	0.9089
Brillouin	1.93	1.695
Menhinick	3.4	2.236
Margalef	4.971	3.004
Equitability_J	0.9061	0.9585
Fisher_alpha	23.37	7.959
Berger-Parker	0.24	0.2
Chao-1	122	10.5

A pesar de la baja diversidad reportada en 2022, los resultados indicaron la presencia del tapir centroamericano (Tapirus *bairdii*), considerada como una especie sombrilla y categorizada como En Peligro por la UICN y además especie de interés para la conservación (EdI) del proyecto Cobre Panamá y la especie EdI *Leopardus pardalis* (Ocelote) ambas documentadas en 2014.

Otras especies presentes en ambos muestreos fueron el mono cariblanco (*Cebus imitator*) y el kinkajou (*Potos flavus*), ambas especies habitantes del dosel del bosque.

Murciélagos

La diversidad de murciélagos en el gradiente T3 para el periodo de muestreo 2022 estuvo representada por 6 especies distribuidas en 35 individuos capturados con redes de niebla, estas son 9 especies menos que en 2014 y menor cantidad de individuos, como se ha mencionado con anterioridad, la actividad de los murciélagos está determinada por factores ambientales como precipitación y temperatura y durante el muestreo de 2022 las lluvias impidieron que el muestreo alcanzara una cobertura superior al 0.90 , que es considerado como un muestreo representativo, de manera que los datos del 2022 suponen un submuestreo de la diversidad real de murciélagos presentes en al área.

En todo caso, tampoco existen condiciones de cambio de uso de suelo o alteraciones que sustenten una erosión de la diversidad de este grupo taxonómico en el gradiente T3, por lo que se considera que estos resultados reflejan la variabilidad natural de los registros de murciélagos en el área de muestreo

Tabla 10.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murciélagos del gradiente T3

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	15	6
Individuals	107	35
Dominance_D	0.1283	0.2098
Simpson_1-D	0.8717	0.7902
Shannon_H	2.32	1.66
Evenness_e^H/S	0.6782	0.8763
Brillouin	2.11	1.437
Menhinick	1.45	1.014
Margalef	2.996	1.406
Equitability_J	0.8566	0.9263
Fisher_alpha	4.749	2.084
Berger-Parker	0.243	0.3143
Chao-1	15.33	6

Gradiente T4

Estado del gradiente

El gradiente T4 no presenta cambios en la cobertura boscosa dentro ni alrededor de los transectos de estudio. El análisis de imágenes satelitales disponibles indica que además se han recuperado algunos parches de bosque, aparentemente utilizados como ¨trabajaderos¨ antes del 2006, que para el 2017 ya aprecian con la restitución de la cobertura forestal. Por estas razones el gradiente T4 es candidato a ser utilizado como sitio de referencia cuando corresponda hacer el análisis comparativo del estado de la diversidad biológica entre los gradientes.

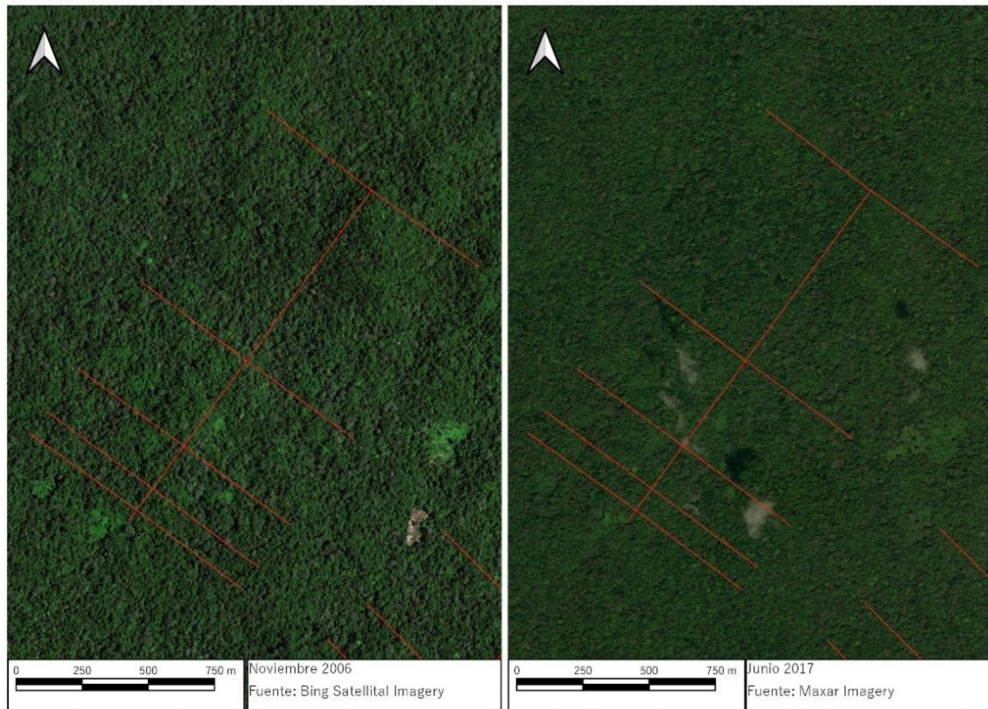


Figura 4.Mapa del gradiente T4 mostrando el cambio en la cobertura vegetal ocurrido entre 2006 y 2017.

Anfibios

La abundancia y riqueza de anfibios fue superior durante el muestreo de 2022 que, en 2014, posiblemente debido a una mayor precipitación, condición que está ligada a la actividad reproductiva de los anfibios. Durante el muestreo de 2022 se registraron 281 individuos pertenecientes a 31 especies, en contraste, durante el muestreo de 2014 solo se capturaron 93 individuos y 18 especies.

Los índices de diversidad son consecuentes con esta diferencia, mostrando mayor diversida de Shannon para el 2022, aunque la dominancia se mantuvo igual con Simpson-1= 0.90 para ambos eventos de muestreo.

Tabla 11.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para anfibios del gradiente T4

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	18	31
Individuals	93	281
Dominance_D	0.09331	0.09743
Simpson_1-D	0.9067	0.9026
Shannon_H	2.597	2.712
Evenness_e^H/S	0.7458	0.4857
Brillouin	2.319	2.542
Menhinick	1.867	1.849
Margalef	3.751	5.321
Equitability_J	0.8985	0.7897
Fisher_alpha	6.649	8.899
Berger-Parker	0.1935	0.1886
Chao-1	18.17	35

El análisis de las frecuencias relativas de anfibios en el gradiente T4 muestra que las especies representantes de la familia Eleutherodactylidae fueron dominantes durante ambos periodos, por ejemplo, *Diasporus quidditus* fue una las especies con mayor cantidad de observaciones en 2014 y 2022

El género *Diasporus* comprende ranas que habitan área de bosque secundario y bosque maduro y están en un rango de vulnerabilidad ambiental medio. La segunda familia más abundante en ambos periodos fue Craugastoridae, de las cuales las especies *Craugastor polyptychus* y *Craugastor evanesco* presentan altos índices de vulnerabilidad ambiental, de ellas, *Craugastor evanesco* es una especie considerada críticamente amenazada en Panamá y es una de las especies de interés del proyecto mina de Cobre Panamá. *C. evanesco* fue reportada en el transecto T4 en 2022.

Reptiles

La abundancia y riqueza de reptiles fue apenas superior durante el 2022, con 16 especies observadas durante el muestreo del 2022 y 13 durante el 2014. En consecuencia, los índices de diversidad se mantuvieron en rangos similares. En índice de Whittaker que mide el reemplazo entre comunidades fue de 0.51 indicando que existen diferencias en la composición de especies entre ambos muestreos

Aun así, la familia más frecuente en ambos muestreos fue Dactyloidae representada por las lagartijas del género *Anolis,* que estuvieron representadas por distintas especies en cada caso. Por otra parte, en 2022 se registra el único individuo de *Sibon lamari* (Colubridae), *S. lamari* es una culebra nocturna que predominantemente se alimenta de gasterópodos [8] y ha sido catalogada como especie amenazada (EN) en la lista roja de UICN y en la lista de especies amenazadas de Panamá[9].

Tabla 12.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles del gradiente T4

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	13	16
Individuals	25	34
Dominance_D	0.1072	0.1453
Simpson_1-D	0.8928	0.8547
Shannon_H	2.398	2.333
Evenness_e^H/S	0.8462	0.6444
Brillouin	1.863	1.856
Menhinick	2.6	2.744
Margalef	3.728	4.254
Equitability_J	0.9349	0.8415
Fisher_alpha	10.92	11.8
Berger-Parker	0.2	0.2647
Chao-1	15.5	29.75

[8] Köhler, G. (2008). Reptiles of central America

[9] Resolución DM-0657 de 16 de diciembre de 2016. Por la cual se establece el proceso para la elaboración y revisión periódica del listado de especies de fauna y flora de Panamá, y se dictan otras disposiciones. Gaceta Oficial N° 28187a

Mamíferos terrestres

Aunque la abundancia de mamíferos terrestres durante el 2022 fue superior a la documentada en 2014, la riqueza de especies fue inferior en 2022 con 8 especies en lugar de las 10 reportadas en 2014, pero además de una menor diversidad, la comunidad de mamíferos fue diferente, con un índice de diversidad beta de Whittaker de 0.66, esto es que, de las 8 especies reportadas en 2022, solo 3 fueron reportadas también en 2014 y el resto solo se observaron en uno u otro muestreo. Las especies en común fueron *Tapirus bairdii*, *Cuniculus paca* y *Dasyprocta punctata.*

En respuesta a esta menor riqueza de especies durante el muestreo de 2022, el índice de diversidad biológica de Shannon pasó de 2.06 a 1.79, mientras que la dominancia y la homogeneidad presentaron ligeras variaciones. Esta menor riqueza de especies pudo deberse condiciones climáticas adversas que dificultan el registro de huellas y rastros de mamíferos, ocasionando que para el muestreo más reciente la cobertura de la muestra estuviera cercana a 0.80 y que la curva de rarefacción no alcanzara la asíntota.

Tabla 13.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para mamíferos terrestres del gradiente T4

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	10	8
Individuals	14	22
Dominance_D	0.1735	0.1983
Simpson_1-D	0.8265	0.8017
Shannon_H	2.064	1.799
Evenness_e^H/S	0.7879	0.7552
Brillouin	1.457	1.429
Menhinick	2.673	1.706
Margalef	3.41	2.265
Equitability_J	0.8965	0.865
Fisher_alpha	15.65	4.523
Berger-Parker	0.3571	0.2727
Chao-1	46	11

Murciélagos

El gradiente T4 registra valores altos de diversidad de quirópteros en ambos periodos. El grupo estuvo representado por 13 especies en 51 individuos durante en 2022 y 92 individuos y 12 especies en 2014, con índices de diversidad similares o que se aproximan a los valores reportados de diversidad de murciélagos de Donoso.

La tasa de recambio de especies entre periodos fue baja, (Whittaker= 0.28) es decir, se mantiene una comunidad de quirópteros compuesta en su mayoría por las mismas especies con solo tres especies diferentes capturas en solo uno de los periodos.

El índice de diversidad e Shannon fue apenas mayor en 2014 que en 2022 a pesar que hubo mayor riqueza en 2022, esto puede ser explicado por una mayor homogeneidad y menor dominancia del muestreo de línea base.

La riqueza de especies según el estimado Chao-1 es similar a la observada, con un rango entre 13 a 15 especies, indicando que en ambos casos se obtuvo una buena representación de la comunidad de murciélagos.

Tabla 14.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murciélagos del gradiente T4

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	12	13
Individuals	92	51
Dominance_D	0.1269	0.1388
Simpson_1-D	0.8731	0.8612
Shannon_H	2.222	2.218
Evenness_e^H/S	0.7685	0.7066
Brillouin	2.023	1.903
Menhinick	1.251	1.82
Margalef	2.433	3.052
Equitability_J	0.894	0.8646
Fisher_alpha	3.684	5.632
Berger-Parker	0.2174	0.2549
Chao-1	12.5	14.5

Gradiente T6

Estado del gradiente

El gradiente T6 presenta alteraciones respecto al estado inicial de la cobertura boscosa existente durante el establecimiento de los primeros transectos en el año 2014. El cambio más notable se registra sobre el gradiente ubicado a los 350 metros donde se han habilitado zonas de trabajo y algunas viviendas. No obstante, esta afectación no es la única, puesto que se identificaron en campo varios trabajaderos ubicados en la periferia del gradiente, por lo que es posible que los resultados de diversidad biológica de algunos grupos se hayan visto afectados por la fragmentación del bosque y creación de zonas de borde.

Precisamente el efecto de borde, pero con respecto a la mina, es lo que se pretende medir con este monitoreo, sin embargo, los transectos presentan bordes irregulares generados por otras actividades, lo que sin duda tiene incidencia en el ensamble de comunidades de organismos sensibles a alteración de la cobertura boscosa.

Comparación del estado de la cobertura vegetal y avance de la frontera agropecuaria alrededor del gradiente de muestreo T6

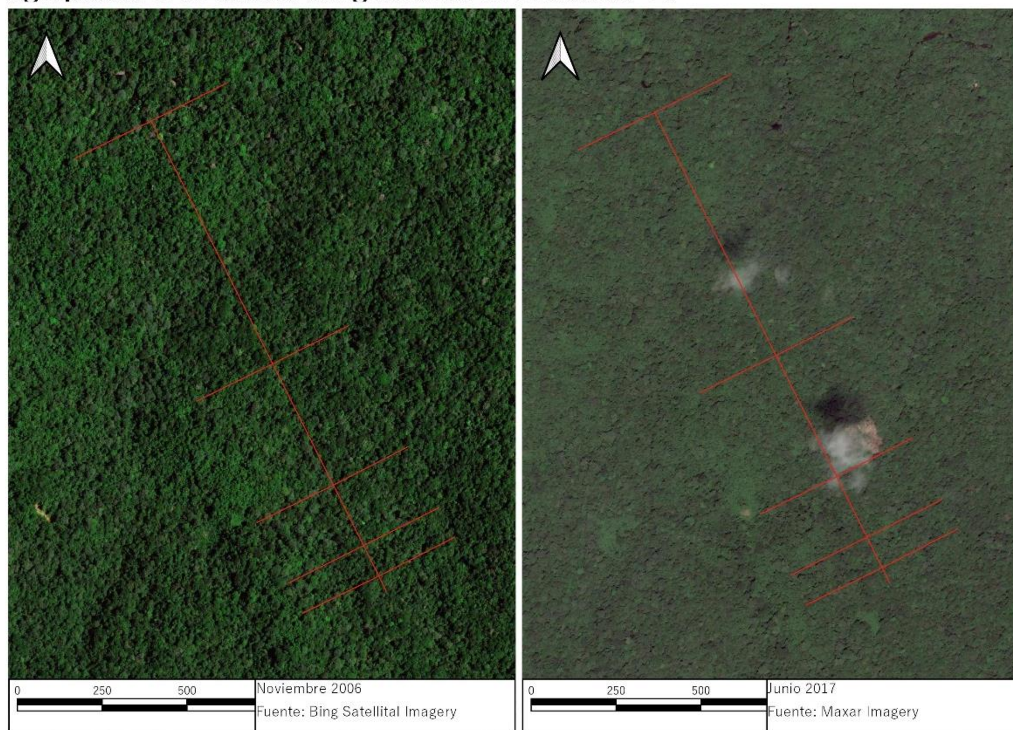


Figura 5.Mapa del gradiente T6 mostrando el cambio en el uso de suelo ocurrido entre 2006 y 2017.

Anfibios

La mayor diversidad de anfibios dentro del gradiente T6 se reportó durante el 2022, con 181 individuos pertenecientes a 32 especies, mientras que en 2014 la riqueza fue de 20 especies. El índice de diversidad beta de Whittaker fue de 0.50, es decir se observa un recambio de especies, con 19 especies que estuvieron presentes en 2022 que no fueron documentadas en 2014.

Como consecuencia de una mayor riqueza y homogeneidad en la frecuencia relativas de las especies, el índice de Shannon fue superior al de 2014 y la dominancia fue menor. Por otra parte, la riqueza esperada según el estimador de Chao-1 se acerca a la riqueza observada en ambos casos, condición que sugiere que las curvas de rarefacción para los dos muestreos acercaron a la asíntota.

Tabla 15.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para anfibios de del gradiente T6

Índice	*2014*	*2022*
Taxa_S	20	32
Individuals	132	181
Dominance_D	0.08804	0.0692
Simpson_1-D	0.912	0.9308
Shannon_H	2.656	2.979
Evenness_e^H/S	0.7119	0.6148
Brillouin	2.424	2.723
Menhinick	1.741	2.379
Margalef	3.891	5.963
Equitability_J	0.8866	0.8596
Fisher_alpha	6.555	11.29
Berger-Parker	0.1667	0.1326
Chao-1	21.5	35.11

Un reporte relevante del año 2022 es la observación de *Craugastor evanesco* en el gradiente T6, esta especie es endémica de la cuenca Atlántica de la que forma parte la región del Donoso, fue descrita en el año 2010 y es muy susceptible a la infección del hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* con alta probabilidad de desaparecer en vida silvestre, razón por la cual es objeto de estudio y conservación.

Reptiles

La comunidad de reptiles presentes durante el muestreo del año 2022 estuvo compuesta por 19 especies, cuatro más que en 2014, con un índice de diversidad beta de Whittaker igual a 0.47 lo que sugiere un recambio en la composición de especies, con nueve especies de diferencia entre el 2022 y 2014.

Sin embargo, a pesar que hubo mayor riqueza de especies el índice de diversidad de Shannon fue ligeramente menor debido a una mayor frecuencia de captura de la lagartija *Anolis humilis* que fue el reptil más frecuentemente observado en este transecto durante el 2022, este *Anolis* es una especie común, frecuente en el suelo del bosque (Jaramillo, comunicación personal). Por esta misma razón, la dominancia fue mayor durante el 2022 y disminuyó la homogeneidad de 0.85 a 0.63.

Por otra parte, el total de especies de reptiles reportadas en ambos muestreos es de 25, valor que se encuentra dentro del rango de diversidad esperada según el estimador Chao-1, que estimó entre 17 y 30 la diversidad de reptiles en este punto

Tabla 16.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles de del gradiente T6

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	15	19
Individuals	36	57
Dominance_D	0.08951	0.1203
Simpson_1-D	0.9105	0.8797
Shannon_H	2.548	2.49
Evenness_e^H/S	0.8522	0.6346
Brillouin	2.073	2.104
Menhinick	2.5	2.517
Margalef	3.907	4.452
Equitability_J	0.941	0.8456
Fisher_alpha	9.655	9.98
Berger-Parker	0.1667	0.2632
Chao-1	17	30.25

Mamíferos terrestres

Como resultó habitual durante el muestreo del año 2022, los mamíferos resultaron ser poco detectables, registrándose solo las especies más conspicuas que además dejan rastros importantes, no obstante, estas dificultades se registraron para este periodo, 26 observaciones y riqueza de diez (S_{2022}=10), esto fue 3 especies menos que en 2014 pero más observaciones (n_{2014} =15).

La riqueza de ambos muestreos fue de 17 especies, sin embargo, el índice de diversidad beta o de reemplazo de especies (Whittaker = 0.48) muestra que se trata de dos comunidades diferentes en ambos periodos con solo 6 especies en común entre ambos muestreos.

Los resultados de riqueza y abundancia derivan en índices de diversidad más bajos para el periodo 2022 con Shannon $_{2022}$ = 1.97, también fue menor la homogeneidad en 2022 que en 2014 y mayor dominancia que se explica por la mayor frecuencia de observaciones de *Cebus imitator* (mono cariblanco) en 2022.

Tabla 17.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para mamíferos terrestres del gradiente T6

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	13	10
Individuals	15	26
Dominance_D	0.09333	0.1834
Simpson_1-D	0.9067	0.8166
Shannon_H	2.488	1.977
Evenness_e^H/S	0.9262	0.7224
Brillouin	1.741	1.577
Menhinick	3.357	1.961
Margalef	4.431	2.762
Equitability_J	0.9701	0.8588
Fisher_alpha	46.48	5.949
Berger-Parker	0.2	0.3462
Chao-1	79	15

Un registro importante, por tratarse de una especie amenazada y que forma parte de las especies de interés para la conservación de la mina de Cobre Panamá, fue la observación de huellas de jaguar en el transecto T6 en 2022

En este mismo transecto se documentó la presencia de sainos (*Pecari tajacu*) una de las presas del jaguar.

Murciélagos

Durante el muestreo del año 2022 En el gradiente T6 los murciélagos fueron particularmente abundantes, registrándose un total de 645 individuos, pertenecientes a nueve especies, en contraste, la abundancia durante el periodo de muestreo del 2014 fue menor, con 163 individuos, pero un total de 16 especies, en consecuencia, los índices de diversidad son superiores en 2014 que en 2021 para este transecto. El índice Whittaker de reemplazo de especies (W= 0.36) muestra que la mayoría de las especies presentes durante el primer muestreo también lo estuvieron durante el segundo con 8 especies en común entre ambos muestreos.

Tabla 18.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murciélagos de del gradiente T6

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	16	9
Individuals	163	645
Dominance_D	0.1307	0.1611
Simpson_1-D	0.8693	0.8389
Shannon_H	2.306	2.009
Evenness_e^H/S	0.627	0.8288
Brillouin	2.149	1.974
Menhinick	1.253	0.3544
Margalef	2.945	1.237
Equitability_J	0.8316	0.9145
Fisher_alpha	4.396	1.48
Berger-Parker	0.2454	0.2868
Chao-1	22	9

Debido a la alta tasa de capturas, las curvas de rarefacción de los transectos alcanzaron la asíntota y la completitud de la muestra fue de 1.0 para ambos periodos

Aunque estos resultados aparentan ser elevados en términos de cantidad de individuos y especies, es importante mencionar que el muestreo de murciélagos con redes de niebla presenta sesgos espaciales de muestreo, pues solo se colectan especies en la parte baja del bosque y no se logran capturas de especies que utilizan el dosel o vuelan por encima del dosel del bosque.

De manera que la comunidad aquí representada se constituye por el ensamblaje de murciélagos que hacen uso de la parte baja del bosque hasta un máximo de 4 metros de altitud por encima del nivel del suelo, en este sentido, el estimador de riqueza de especies Chao-1 considera que la riqueza esperada del lugar sea de 22 especies según los datos de 2014, pero de solo nueve para el 2021.

Gradiente T10

Estado del gradiente

El gradiente T10 no presenta alteraciones respecto al estado inicial de la cobertura boscosa existente durante el establecimiento de los primeros transectos en el año 2014. De hecho, algunas zonas de trabajadero ubicadas a aproximadamente 500 metros hacia el sur del transecto T10_ 50 han sido recolonizadas por la vegetación nativa. Sin embargo, si fue posible observar algunos focos de colonización, que, aunque distantes del gradiente (aprox. 1.5 km) pudieran expandirse o servir como punto para el establecimiento de asentamientos humanos.

La experiencia indica que la región del Donoso es vulnerable a procesos de colonización ilegal por parte de comunidades indígenas y colonos que cambian el uso de suelo y practican la cacería de fauna silvestre, con consecuencias para las comunidades faunísticas de la zona. En todo caso, hasta el momento el gradiente se mantiene en condiciones similares a las observadas en el año 2014.

Comparación del estado de la cobertura vegetal y avance de la frontera agropecuaria alrededor del gradiente de muestreo T10



Figura 6.Mapa del gradiente T10 mostrando el cambio en el uso de suelo ocurrido entre 2006 y 2017.

Anfibios

En el periodo de muestreo del año 2022 en el gradiente T10 se registraron 300 individuos pertenecientes a 29 especies de anfibios, un número similar de especies (n_{2014}=27) se reportó para el periodo 2014 con 120 individuos. El índice de reemplazo de especies de Whittaker obtiene un valor relativamente bajo de 0.35 indicando que la mayoría de los anfibios detectados en 2014 lo fueron en 2022.

De hecho, el índice de diversidad de Shannon presenta poca variación entre ambos muestreos, siendo ligeramente superior en 2014, pero sí se aprecia mayor homogeneidad y menor dominancia en el primer periodo de muestreo (Tabla 19), esto debido a una mayor frecuencia relativa de algunas especies como *Diasporus* cf. *vocator, Oophaga vicentei* y *Diaporus* sp1 en el año 2022 que estuvieron menos representadas en 2014.

Tabla 19.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para anfibios de del gradiente T10

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	27	29
Individuals	120	300
Dominance_D	0.06569	0.07402
Simpson_1-D	0.9343	0.926
Shannon_H	2.947	2.845
Evenness_e^H/S	0.7053	0.5933
Brillouin	2.635	2.685
Menhinick	2.465	1.674
Margalef	5.431	4.909
Equitability_J	0.8941	0.8449
Fisher_alpha	10.84	7.923
Berger-Parker	0.125	0.1267
Chao-1	30	32.75

Un registro importante fue la documentación de *Andinobates geminisae*, especie recientemente descrita para el área de Donoso y que solo fue reportada en este gradiente en ambos periodos.

Reptiles

La riqueza y abundancia de reptiles en el gradiente T10 del año 2022 se asemeja a los resultados observados durante 2014 salvo que sí se aprecia un reemplazo de especies entre los dos muestreos, con solo 6 especies en común.

En el muestreo del año 2022 la riqueza del gradiente fue de 17 especies y la abundancia de 34 individuos, mientras que para el 2014 la abundancia fue de 25 individuos y 16 especies, en consecuencia, los índices de diversidad biológica son prácticamente los mismos según se aprecia en la tabla 20.

Estos resultados deben interpretarse con cautela debido a la baja completitud del muestreo, que en ningún caso obtuvo un valor superior a 0.63, es decir, los índices de diversidad no reflejan la diversidad real de los gradientes muestreados y probablemente solo alcanzan a documentar las especies más frecuentes o abundantes [10].

Tabla 20.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para reptiles de del gradiente T10

Índice	*2014*	*2022*
Taxa_S	16	17
Individuals	25	34
Dominance_D	0.0944	0.09516
Simpson_1-D	0.9056	0.9048
Shannon_H	2.578	2.572
Evenness_e^H/S	0.8231	0.7699
Brillouin	1.958	2.049
Menhinick	3.2	2.915
Margalef	4.66	4.537
Equitability_J	0.9298	0.9077
Fisher_alpha	19.17	13.53
Berger-Parker	0.2	0.1471
Chao-1	49	35.33

Los reptiles y especialmente las serpientes son notoriamente difícil de muestrear; muchas especies tienen detectabilidades tan bajas como para volverlas efectivamente invisibles en las comunidades donde ocurren [11]. Por estas razones, los datos obtenidos presentan una enorme incertidumbre en la composición de la

[10] Chao, A, Kubota, Y, Zelený, D, et al. Quantifying sample completeness and comparing diversities among assemblages. Ecological Research. 2020; 35: 292– 314. https://doi.org/10.1111/1440-1703.12102

[11] Fraga Rd, Stow AJ, Magnusson WE, Lima AP (2014) The Costs of Evaluating Species Densities and Composition of Snakes to Assess Development Impacts in Amazonia. PLoS ONE 9(8): e105453. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105453

comunidad de reptiles del área estudiada, que solo puede ser abordada con muestreos con mayor representatividad temporal.

Mamíferos

En ambos muestreos se documentó la presencia de 13 especies, salvo que en el muestreo del 2022 la abundancia fue mayor que la reportada en 2014 y aunque el número de especies fue el mismo, la composición de la comunidad fue diferente, con un índice de Whittaker de 0.46 y un total combinado de 19 especies, de las cuales solamente siete estuvieron presentes en ambos periodos.

En ambos eventos de muestreo la dominancia se mantuvo baja, en un rango entre 0.09 y 0.11, alta homogeneidad e índice de Shannon similar en ambos casos (Tabla 21). Por otra parte, la estimación de diversidad de Chao-1 se situó entre 16 a 18 especies,

Al igual que con otros grupos taxonómicos, la baja detectabilidad de los mamíferos especialmente los de hábitos nocturnos[12] o arborícolas [13] , dificulta obtener en un muestreo de corto tiempo la diversidad de mamíferos presentes en una zona. Estudios previos ejecutados por BCG sugieren que la diversidad de mamíferos terrestres de Donoso se encuentra cercana a las 30 especies.

Un dato relevante acerca de la comunidad de mamíferos del gradiente T10 es la presencia del mono *Ateles geoffroyi*, que se encuentra amenazado según la lista roja de UICN, esta especie solo fue documentada durante el año 2022 en este sitio.

Tabla 21.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para mamíferos terrestres del gradiente T10

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	13	13
Individuals	22	45
Dominance_D	0.09504	0.1141
Simpson_1-D	0.905	0.8859
Shannon_H	2.453	2.333
Evenness_e^H/S	0.8937	0.7931
Brillouin	1.864	1.977
Menhinick	2.772	1.938
Margalef	3.882	3.152

[12] Nekaris KAI, Pambudi JAA, Susanto D, Ahmad RD, Nijman V (2014) Densities, distribution and detectability of a small nocturnal primate (Javan slow loris Nycticebus javanicus) in a montane rainforest. Endang Species Res 24:95-103. https://doi.org/10.3354/esr00585

[13] Roland Kays, James Sheppard, Kevin Mclean, Charlie Welch, Cris Paunescu, Victor Wang, Greg Kravit & Meg Crofoot (2019) Hot monkey, cold reality: surveying rainforest canopy mammals using drone-mounted thermal infrared sensors, International Journal of Remote Sensing, 40:2, 407-419, DOI: 10.1080/01431161.2018.1523580

Equitability_J	0.9562	0.9096
Fisher_alpha	13.35	6.128
Berger-Parker	0.1364	0.2
Chao-1	18.25	16

Murciélagos

Los quirópteros fueron el grupo menos representado en el gradiente T10, a pesar de ser el taxa de mamíferos con mayor diversidad del neotrópico [14] . En total se capturaron 210 individuos pertenecientes a nueve especies durante el 2022 y nueve especies en 2014 y aunque el número de especies fue igual, la composición de la comunidad fue muy diferente, con un ndices de Whittaker de 0.67 y un total combinado de 15 especies de las cuales solo tres estuvieron presentes en ambos muestreos.

Tabla 22.Comparación de los principales índices de diversidad alfa para murcielagos del gradiente T10

Índices	*2014*	*2022*
Taxa_S	9	9
Individuals	38	210
Dominance_D	0.1593	0.2189
Simpson_1-D	0.8407	0.7811
Shannon_H	1.984	1.854
Evenness_e^H/S	0.8081	0.7093
Brillouin	1.69	1.77
Menhinick	1.46	0.6211
Margalef	2.199	1.496
Equitability_J	0.903	0.8436
Fisher_alpha	3.725	1.912
Berger-Parker	0.2632	0.4095
Chao-1	10	9

El efecto generado por la abundancia de especímenes durante el 2022 ocasionó que la curva de rarefacción se aproxime a la asíntota, con coberturas de la muestra de 0.99, sin embargo, los resultados del 2014 no alcanzaron superar una cobertura de muestra superior a 0.75 por lo que la comparación de ambos muestreos debe hacerse con cautela.

Es importante mencionar que el muestreo de murciélagos con redes de niebla presenta sesgos espaciales de muestreo, pues solo se colectan especies en la parte baja del bosque y no se logran capturas de especies que utilizan el dosel o vuelan por encima del dosel del bosque

[14] Araúz G., J. (2017) Riqueza y abundancia de las especies de murciélagos de Donoso, provincia de colón, panamá», Tecnociencia, 19(2), pp. 47–65. Disponible en: https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/120 (Accedido: 31 agosto 2022).

Del listado destacan las especies *Dermanura watsoni* y *Saccopteryx bilineata* las cuales fueron colectadas solamente en el gradiente T10.

Conclusiones

Se presentan y comparan los resultados de diversidad biológica para los grupos anfibios, reptiles y mamíferos en los cinco gradientes del programa de monitoreo de efecto borde.

Se recomienda cautela al comparar los resultados de ambos muestreos debido a que variables ambientales abióticas y bióticas tienen influencia sobre la presencia y abundancia relativa de la fauna, en este sentido se hace difícil atribuir las diferencias a efectos antrópicos, con la notable excepción del gradiente T2 en el cual, con certeza podemos asegurar que el impacto causado por la tala y apertura de bosque para el establecimiento de cultivos y ganadería ha afectado negativamente los principales índices de biodiversidad para todos los taxa de este gradiente.

En este sentido, los mamíferos han sido el grupo más afectado, y aunque la comunidad de anfibios aparenta un incremento de riqueza, esta se debe al reemplazo en la comunidad de especies comunes de áreas abiertas que han reemplazado a las especies de anfibios de bosque.

Los gradientes T3, T4 y T6 presentan variaciones que no pueden atribuirse a efectos de actividad humana, por el contrario, variables como la ocurrencia de lluvias durante el muestreo parecen ser la principal explicación a las diferencias, por ejemplo, durante el periodo 2022 fueron más abundantes los anfibios en todos los gradientes en tanto que la diversidad de murciélagos apenas varió o disminuyo, para ambos grupos está aceptado que la lluvia incrementa la actividad reproductiva de los anfibios y disminuye el forrajeo de murciélagos.

El gradiente T10 se constituye como un sitio de referencia, en el cual prácticamente no hubo diferencias entre los índices de diversidad, con comunidades de anfibios y reptiles prácticamente idénticas, pero cambios en el ensamblaje de mamíferos terrestres y murciélagos. Este gradiente es notable por la ausencia de afectaciones causadas por tala y avance de la frontera agrícola y la presencia de varias especies endémicas o de rango de distribución restringida hacen que este lugar sea un área importante de conservación.

Finalmente, a pesar del enorme esfuerzo de muestreo, el objetivo fundamental del monitoreo de efecto borde no se logró, debido a que, transcurridos 8 años del levantamiento de la línea base, el borde de la mina no alcanzó el límite hipotético trazado en el metro cero de cada transecto.

Por el contrario, nuevos bordes se han abierto alrededor y dentro de 4 (debido a tala ilegal) de los 5 transectos muestreados a la fecha, afectando las condiciones

iniciales, haciendo que se pierda el propósito para el cual fueron generados los gradientes y los transectos del proyecto de monitoreo de efecto borde.

Otras metodologías, tales como el uso de cámaras trampa y trampas de lodo podrían ser implementadas para obtener una mejor representación de la comunidad de mamíferos terrestres presentes en la zona.